

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：33906

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501114

研究課題名(和文) 緑藻アオミドロの接合を誘発する要因の探索 - 教材化と分類の見直しを目指して

研究課題名(英文) A study on factors inducing the conjugation of the filamentous green algae, Genus Spirogyra

研究代表者

野崎 健太郎 (NOZAKI, KENTARO)

椋山女学園大学・教育学部・准教授

研究者番号：90350967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：糸状の群体を形成する接合藻のアオミドロ属は淡水域に幅広く分布している。アオミドロは異なる2つの群体が接合する有性生殖を行い、その接合過程は性の分化の始まりを考えさせる科学教材として有用である。しかしながら、本属の分類形質でもある接合を誘発する要因の探索は困難であり、本属に関する優れた生態学的研究の多くは種が不明なままに行われてきた。本研究では、数種のアオミドロを対象として、野外個体群の増殖、生殖、衰退の過程を詳細に記録することに成功した。その結果、これまで室内培養株を用いた研究で主要な要因とされていた窒素欠乏よりも、水温、光環境といった気象要因の季節変化が重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Filamentous green alga genus Spirogyra (Zygnemataceae) which often constructs a mat forming community in lake littoral, pond and streams, is a common genera found in freshwaters. The formation process of conjugation and zygospores of Spirogyra is a suitable teaching material introducing sexual reproduction in biology learning. Spirogyra species have been classified by the shape and color of conjugation and fully-ripened zygospores. Although conjugation and zygospore development of Spirogyra are a well-known phenomenon, little is understood about their detailed processes and mechanism, because of the difficulty in artificial reproducible induction of conjugation in laboratory experiments. Consequently, ecological studies of Spirogyra were almost unidentified the species. Results of this study suggest that some species of Spirogyra might be propagating in spring and forming zygospores in late spring to early summer. However, the mechanism is still not clear.

研究分野：科学教育

キーワード：科学教育 有性生殖 アオミドロ 理科教材 水環境教育 異型配偶子生殖 陸水 生物学教育

1. 研究開始当初の背景

淡水産の糸状緑藻アオミドロ (*Spirogyra* 属、系統的には広義の車軸藻) は、異なる糸状体に連なる2つの体細胞が配偶子として梯子状に接合し、接合子を形成する有性生殖を行う。これは同型配偶子による有性生殖の教材として理科(生物)の教科書に頻りに取り上げられている。また接合と接合子の形状や色は、アオミドロを分類する際に最も重要な形質となる。しかしながら、接合を誘発する要因については未だ確定されていない。したがって、接合の観察は偶然に頼ることになり、安定した理科教材として用いることは困難な状況が続いている。分類についても、日本だけではなく世界的にも見直しが行われていない。これまで、アオミドロの接合は、生息環境の悪化によって生じると推測され、水温、光、栄養塩がその要因として考えられてきた。ただし、アオミドロを培養すること自体が難しく、これら要因と接合との関係が詳細に調べられた報告は存在しない。一般的には、「野外から採集したアオミドロを蒸留水で満たしたビーカーに入れ、日のあたる窓際に数日放置すると接合が生じる」と紹介されるが、実際に接合が生じることは極めて稀である。先行研究の状況から、申請者は、アオミドロの接合を人為的に誘発する要因を探索するために、取り組むべき課題を以下に定めた。なるべく幅広い環境からアオミドロを採集し、簡便な同一の条件に放置し、どのような環境から採取されたアオミドロが接合を生じやすいのかを調べた。

2. 研究の目的

アオミドロは、水田、ため池、河川、湧水等、あらゆる陸水環境に出現する。小・中学校に設置されたビオトープ池でも普通に見られ、夏期は増え過ぎて景観の悪化にもつながる。このように人間生活に身近な環境に幅広く生息しているが、それらを幅広く採集し、接合の生じる頻度について比較検討した報告は無い。そこで、水温、水質、流れ、を環境要因の変数とし、それらが異なる場所から広くアオミドロを集める。採集したアオミドロは、義務教育の現場でも設定可能な同一の環境条件(蒸留水・室温・日のあたる窓際)に放置し、接合の生じやすさを比較する。この調査の中で、どのような環境の変化があると接合を生じるのか、について経験的な知見が得られることになる。

3. 研究の方法

(1) 自然環境で接合を誘発する要因の探索

在勤地となる愛知県東尾張(名古屋市)西三河(豊田市)の様々な陸水環境からアオミドロの採集を行う。水温(気温)の違いに影響する標高を基準として、庄内川、矢作川水系の標高0~1000 m に分布する水田、ため池、湧水(湿地)を50地点以上、調べる。アオミドロは田植え後の水田に良く発生す

るため、4~8月に集中して採集を行う。採集時に野外では、水温、pH、電気伝導度、パケットによる水質分析(硝酸態窒素・鉄・COD)、流速、水中光の減衰を測定し、水質分析用の試水を採取する。水質は溶存態窒素(アンモニア・亜硝酸・硝酸態)、リン酸、珪酸、カルシウム、鉄、有機物(COD・BOD)、濁度・色度を分析する。

野外から採集したアオミドロを蒸留水(貧栄養状態)、水道水、現場水で満たしたガラス試料びん(30 ml)やガラスシャーレに入れ、室温で窓際に放置する。これを継続して観察し、接合が生じる有無を調べる。この調査の中で、アオミドロの接合は、どのような環境変化によって生じるかを推測する。接合が生じた場合は、顕微鏡写真で記録し、その形状から分類を行う。

(2) 教材としてのアオミドロの有用性

本研究で蓄積した接合の写真を用いて、理科の生物学分野における「生殖」を学ぶ教材としてのアオミドロの有用性を検討した。特に同型配偶子による有性生殖の中で、“性の分化の始まり”を重視する教材開発を行った。

4. 研究成果

(1) 中池見湿地(福井県敦賀市)で採集された糸状緑藻アオミドロ (*Spirogyra* 属) の接合体と接合胞子の形成過程(雑誌論文)

2012年3月12日に中池見湿地から採集されたアオミドロの接合体と接合胞子の形成過程を顕微鏡写真と採集地点の水環境と共に記述した。細胞は、幅40~50 μm、長さ60~100 μmで、細胞間の隔膜は平板状であった。葉緑体は1本で、2~5回転していた。接合体は、並び合った2本の糸状体の両方から接合管が伸び、梯子状に形成された。接合体は大部分が円筒状であったが、時には拡張していた。熟した接合胞子は、楕円形で、胞子中層膜は黄褐色で平滑であった。これらの特徴から、*Spirogyra variformis* TRANSEAU と同定した。硝酸態窒素濃度と水温の変化が接合体の誘導に影響していると思われた。

(2) 静岡県浜松市の水田水路から採集された *Spirogyra variformis* TRANSEAU の接合過程(雑誌論文)

2014年3月26日に静岡県浜松市の水田水路から採集したアオミドロの接合過程を記載し、合わせて成長に適した環境を検討するために採集地の水質を分析した。細胞は、幅40~50 μm、長さ60~100 μmで、細胞間の隔膜は平板状であった。葉緑体は1本で、2~5回転していた。接合体は、並び合った2本の糸状体の両方から接合管が伸び、梯子状に形成された。接合体は大部分が円筒状であったが、時には拡張していた。熟した接合胞子は、楕円形で、胞子中層膜は黄褐色で平滑であった。これらの特徴から、*Spirogyra variformis* TRANSEAU と同定した。採集地の水温は11.8°C、電気伝導度は26.2 mS m⁻¹、pHは6.5であった。溶存無機態窒素は1.14 mg L⁻¹(NO₃⁻-Nが97%

を占めていた)、リン酸態リンは 0.004 mg L^{-1} であった。

(3) 静岡県浜松市三ヶ日町尾奈で採集された糸状藻アオミドロ属(接合藻綱)の接合を誘引する要因の解析(雑誌論文)

2014年4月11日および4月18日に静岡県浜松市三ヶ日町尾奈の水田横の水路で採集された糸状藻アオミドロ(接合藻綱)を用いて、有性生殖の一形態である接合を誘引する要因を検討した。本研究では、接合を誘引する要因として、これまで有力な要因として調べられてきた窒素飢餓に代表される水質の変化に焦点をあてた。そこでアオミドロを培養する溶液として、採集地の水、24時間汲み置いた実験室の水道水(名古屋市水道局、木曾川が水源)、蒸留水の3種類を用意した。すなわち、採集地の水に比べて、窒素が少ない蒸留水を用いた実験区で最も接合が誘引されると予測した。水質の指標とした電気伝導度は、採集地の水で 26 mS/m 、水道水で $5\sim 6 \text{ mS/m}$ 、蒸留水で 0.8 mS/m であった。pHは7であった。11日に採集した試料では、培養開始68.5時間後には採集地の水87%、水道水72%、蒸留水80%が接合し、実験区で大きな違いは見られなかった。18日に採集した試料では、培養開始73時間後には、90%以上の接合を示し、地点間、実験区間で意味のある違いは観察されなかった。実験結果から、本研究で用いたアオミドロの接合には水質の変化が要因となっている可能性は低いと考えられた。興味深い結果は、11日の試料では接合しなかった地点のアオミドロが、18日の試料では、87~97%の細胞に接合が生じたことである。アオミドロにおける生物季節の存在が示唆された。

(4) 生物学教育における有性生殖の教材としての糸状藻アオミドロ属(車軸藻綱)の有性(雑誌論文)

大学生にアオミドロの接合過程を順に見せ、どのような印象を持つかを聞き取り、教材としての可能性を検討した。接合が始まった状態では、向かい合った2本のアオミドロ群体のそれぞれの細胞から乳頭状(papilla)の接合管(conjugation tube)が伸び始めている。大学生の意見は、「両方から手(接合管)を伸ばしているようで求愛の意識を感じる。」「下の群体は4つの細胞、上の群体は3つの細胞、下の4つの細胞の中で手を伸ばしていない1つはあぶれてしまうのだろうか。切ない。」が主であり、接合の始まりを求愛に例えていた。続いて、2つの群体によって接合体(conjugation)が形成され、どちらか一方の細胞質が、相手の細胞に流れ込み、接合が行われている様子、そして接合が終了し、熟した接合胞子(zygospore)が形成された状態を見せた。大学生は、当初、群体を構成する個々の細胞を個体として捉え、接合管を手と見なしていたが、細胞質自体が個体であるように認識が変わり、「無事に好きな人と一緒になれて良かった」という意見が主であっ

た。本調査の結果、アオミドロの接合は、学生自身にとって身近な考え方や体験に変換できると考えられ、生殖を学ぶ教材として親しみやすいと考えられた。クラミドモナス、ヒビミドロ、アミミドロの同型配偶子による有性生殖では、一般的に形と大きさが同じ配偶子が、細胞から遊走子として放出され接合する。この場合、配偶子を放出する個々の細胞には、性による役割分担は見られず、大学生にとっては、有性生殖とは捉えにくいようであった。一方、アオミドロは、細胞質を放出する細胞と受け取る細胞に役割分担しており、この点で有性生殖を理解する教材として有用であると思われる。

(5) 糸状藻アオミドロ属(ホシミドロ科 Zygnemataceae, Spirogyra 属)の接合過程を教材とした有性生殖の学び: 小学校教員養成課程における実践(雑誌論文)

本研究では、小学校教員養成課程の大学生を対象として、糸状藻アオミドロ属((ホシミドロ科 Zygnemataceae, Spirogyra 属)の接合過程が、生殖における性の分化の始まりを学ぶ教材として有用であることを確かめた。教科専門科目「理科」受講学生37名中、25名は、事後学習において「アオミドロの接合には性の分化が見られる」と判断される内容を挙げた。これは受講学生の68%に相当し、全体の3分の2を超えていた。したがって、アオミドロの接合過程は教育効果があると思われる。性の分化に言及した合計32意見の中で、数多く見られた記述は、「片方の細胞から細胞質が放出され、もう片方の細胞に流れ込む」であり、全体の70%程度を占めていた。アオミドロの接合は、2つの細胞が接合管で結ばれ、雄性となった細胞から細胞質が放出され、雌性となった細胞に送り込まれて受精を行う。これは、人間に馴染み深い体内受精に類似した形態である。実際、受講学生からは、「アオミドロの同型配偶子生殖は、私たちが身近に感じやすい哺乳類や身近な生物の生殖方法(雄が雌の体内に生殖細胞を送り込む)に近い」という記述があった。アオミドロの接合過程は、系統的に遠い存在である藻類と人間の間に、性の分化という共通性を見出す教材と成り得る可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

NOZAKI, Kentaro, Zygospore formation of a *Spirogyra variformis* TRANSEAU (Zygnemataceae) collected from an irrigation canal of rice fields at Mikkabi, Hamamatsu in the Tokai Region of Japan, 査読有、*Limnology in Tokai Region of Japan*, 2015、掲載決定

野崎 健太郎、静岡県浜松市三ヶ日町尾奈で採集された糸状藻アオミドロ属(接合藻綱)の接合を誘引する要因の解析、椋山学園大学研究論集(自然科学篇)、査読無、46

号、2015、pp.21-29

野崎 健太郎、糸状藻アオミドロ属（ホシミドロ科 Zygnemataceae, *Spirogyra* 属）の接合過程を教材とした有性生殖の学び - 小学校教員養成課程における実践 -、椋山女学園大学教育学部紀要、査読無、8号、2015、pp.159-167

野崎 健太郎・各務 佳菜、尾張丘陵南部の崖線に見られる湧水の湧出量、水温および水質の季節変化 - 愛知県日進市岩崎町竹の山地区における事例研究 -、陸の水、査読有、64号、2014、pp.31-37

野崎 健太郎、生物学教育における有性生殖の教材としての糸状藻アオミドロ属（車軸藻綱）の有用性、椋山女学園大学教育学部紀要、査読無、7号、2014、pp.295-299、<http://ir.lib.sugiyama-u.ac.jp/dspace/handle/123456789/816>

野崎 健太郎・志村知世乃、矢作川と土岐川の中流域における付着藻現存量と栄養塩濃度の季節変化、矢作川研究、査読有、17号、2013、pp.101-105
http://yahagigawa.jp/3_1_y_kenkyuu/no_17/17hp_10xx.pdf

NOZAKI, Kentaro, Formation process of conjugation and zygospores of a filamentous green alga, *Spirogyra* species collected from a lowland marsh, Naka-ikemi, Tsuruga, Fukui, Japan, *Limnology in Tokai Region of Japan*, 査読有、60号、2013、pp.35-39、<http://island.geocities.jp/nozaki1968/>

〔学会発表〕(計5件)

野崎 健太郎、アオミドロ (*Spirogyra*) の接合を誘発する要因としての窒素欠乏への疑問 - 静岡県浜松市尾奈で採集された *Spirogyra valiformis* TRANSEAU の事例 -、日本陸水学会東海支部会第17回研究発表会、2015年2月22日、清水

野崎 健太郎、1本の葉緑体を持つアオミドロ (*Spirogyra*) の春の有性生殖と消失 - 浜松市三ヶ日町における事例 -、日本陸水学会第79回大会、2014年9月13日、つくば

野崎 健太郎、研究手法としての陸水生物の分類と生物地理、日本陸水学会第79回大会、2014年9月11日、つくば

野崎 健太郎、生物学教育における有性生殖の教材としての糸状藻アオミドロ属（車軸藻綱）の有用性、日本陸水学会東海支部会第16回研究発表会、2014年2月23日、鳥羽

野崎 健太郎、中池見湿地（福井県敦賀市）で採集された糸状緑藻アオミドロ (*Spirogyra* 属) の接合体と接合胞子の形成過程、日本陸水学会東海支部会第15回研究発表会、2013年2月10日、佐久島

〔図書〕(計3件)

野崎 健太郎 他（日本陸水学会東海支部会 編集）、朝倉書店、身近な水の環境科学（実習・測定編）、2014、181

野崎 健太郎 他（中村太士 編著）、講談社、河川生態学、2013、354（pp.72-88）

野崎 健太郎 他（渡邊毅 編著）、中部日本教育文化会、2013、187（pp.101-114）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野崎 健太郎 (NOZAKI, Kentaro)
椋山女学園大学・教育学部・准教授
研究者番号：90350967